

УДК 662.753.12:62-631.4:504.06 (045)

**ПЕРСПЕКТИВИ ЗАМІНИ ЕТИЛОВОЇ РІДИНИ АЛІФАТИЧНИМИ СПИРТАМИ
В СКЛАДІ АВІАЦІЙНИХ БЕНЗИНІВ: ВПЛИВ НА ЕКОЛОГІЧНУ ЧИСТОТУ**

С. В. Бойченко, д-р техн. наук, проф.; *О. Г. Личманенко*, *М. А. Посипайко*

Національний Авіаційний Університет

E-mail: mihail.pos@ukr.net

Наведено переваги етилової рідини які спричинили її популярності як антидетонаційної присадки у складі авіаційних бензинів та наведено її екологічні недоліки, які стали причиною її заборонення в Україні. Розглянуто вплив заміни етилової рідини аліфатичними спиртами на екологічну чистоту авіаційних бензинів.

Ключові слова: етилова рідина; аліфатичні спирти; етанол; метанол; паливо.

In the article the advantages ethyl fluids that have caused its popularity as an anti-knock additive in gasoline and aviation part of its environmental drawbacks are that caused the ban in Ukraine. The effect of replacing ethyl fluid aliphatic alcohols on the environmental safety of aviation gasoline.

Keywords: ethyl fluid, aliphatic alcohols; ethanol; methanol; fuel.

Вступ

Сучасні палива — це суміш компонентів, що отримують різними технологічними процесами. У бензинах, залежно від вуглеводневого складу та технології синтезу сировини, може міститися більше 200 індивідуальних вуглеводнів різної будови, що визначає властивості товарного бензину. Один з головних показників якості бензину є його детонаційна стійкість, здатність палива згоряти без детонації в поршневому двигуні з іскровим запалюванням, що оцінюється октановим числом та описує експлуатаційні та екологічні характеристики транспорту [1].

Для забезпечення детонаційної стійкості та високого октанового числа до складу бензинів додають різні антидетонатори але найефективнішими є свинцеві домішки. Висока ефективність свинецьвмісних детонаторів з одного боку та висока його токсичність з другого, створили суперечливу ситуацію щодо його раціонального застосування. Оскільки ця речовина є токсичною — в Україні з 1 січня 2003 р. згідно з Законом України «Про заборону ввозу і реалізації на території України етилового бензину та свинцевих домішок до бензину» заборонена реалізація етилового бензину, крім авіаційного бензину, до введення сертифікованого в Україні альтернативного виду палива.

Постановка проблеми

Дослідження з використання свинецьвмісних антидетонаторів, як домішок до бензинів про-

в'язують у різних країнах світу вже досить давно, однак, зазвичай більшою мірою вони стосуються автомобільних бензинів, а досліджень з авіаційним паливом проводять досить мало.

Мета роботи — оцінювання впливу етилової рідини на екологічну чистоту авіаційних бензинів та висвітлення впливу на екологічну чистоту замінників етилової рідини. Предмет дослідження — модифікація складу авіаційного бензину заміною етилової рідини аліфатичними спиртами.

Об'єкт дослідження — екологічна чистота авіаційних бензинів.

Аналіз досліджень і публікацій

Дослідження впливу етилової рідини на екологічну чистоту бензинів проводилось ще з сімдесятих років, але лише у двохтисячних вони стали причиною заборони етилової рідини в ЄС. Екологічна чистота — характеристика продукції, яка обернено-пропорційна до її забрудненості. Традиційно в хімотології екологічна чистота палива оцінюється за токсичністю, пожежо- і вибухонебезпечністю, стабільністю під час зберігання і транспортування, здатність впливати на забруднення навколишнього середовища (емісії продуктів його згоряння: CO₂, NO_x і SO₂ та токсичності продуктів неповного згоряння), за канцерогенністю та токсичністю компонентного складу [2].

Згідно з європейськими вимогами до авіаційного палива Avgas 100LL, яке на даний час одне з найкращих, нормуються такі екологічні показ-

ники: концентрація ТЕС не більше ніж $0,56 \text{ г/дм}^3$ та вміст сірки не більше ніж $0,05 \%$. Дослідження впливу етилової рідини на екологічну чистоту саме авіаційних бензинів проводились замало, але навіть при цьому цю інформацію потрібно систематизувати і вказати які ж є альтернативи застосуванню токсичної етилової рідини на сьогодні. Саме цей аналіз і буде представлено в статті.

Використання тетраетилсвинцю

Тетраетилсвинець (ТЕС) запропоновано для використання як антидетонатора американськими інженерами Дж. Міджелі і Дж. Бойдом у 1921 р.

Його густина $1652,4 \text{ кг/м}^3$ за температури 20°C . Тиск насиченої пари за температури 23°C — близько 50 Па . Не розчиняється у воді, добре розчиняється у бензині, спирті, ацетоні та інших розчинниках. Температура кипіння 200°C з розкладанням.

У багатьох країнах світу є обов'язковим додавання барвників до кожної марки авіаційних бензинів. Вони необхідні для розпізнавання авіаційних бензинів та розмежування їх від інших палив. Припустимі барвники та колір забарвлення наводяться в ASTM D910-11 та Def Stan 91-90/3.

В Україні авіаційний бензин не виробляють.

Для винесення оксидів свинцю з камери згоряння в товарні присадки додають виношувачі (галогеніди вуглеводнів). Вони утворюють летючі галогеніди свинцю. Крім того, до складу при-

садок входять антиоксидант (п-оксидифеніламін), барвник і розріджувач (нефрас) [3].

Як видно з рис. 1 домішка навіть $0,2 \text{ г}$ свинцю на 1 кг еталонних бензинових сумішей (ізооктан і н-гептан у пропорціях $40/60$, $50/50$, $60/40$ % об.) збільшує октанове число (ОЧ) на $8,8$ і $9,1$ та 9 відповідно, в свою чергу зі збільшенням концентрації антидетонатора його ефект також зростає, так домішка $0,6 \text{ г}$ свинцю на 1 кг еталонних бензинових сумішей призводить до зростання ОЧ на $24,2$ і $21,7$ та $18,2$ відповідно [3]. Уміст свинцю в складі етилової рідини визначають за відсоткового вмісту ТЕС в етилової рідині і за розрахунками вони становлять такі значення Р-9 — $0,346 \text{ г/г}$, П-2 — $0,352 \text{ г/г}$, 1-ТС — $0,372 \text{ г/г}$.

Домішка в свою чергу $1,6 \text{ г}$ свинцю на 1 кг еталонних бензинових сумішей призводить до зростання ОЧ на найбільші значення, а саме на: $30,8$ і $26,1$ та 21 відповідно, це дає змогу стверджувати, що одним з найчутливіших до ТЕС бензинів є н-гептан [3]. Як видно з рис. 2 ефективність тетраетилсвинцю є надзвичайно чутливою до походження бензинів. У праці [3] наведено, що концентрація свинцю в $0,3 \text{ г/кг}$ прямогінного бензину здатна збільшити його ОЧ на $11,7$ одиниць, а така сама концентрація здатна підсилити стійкість бензину каталітичного риформінгу лише на 4 одиниці і дещо нижчий ефект у ізопентану, це $11,1$ одиниць за тої самої концентрації пльомбуму, що і вище.

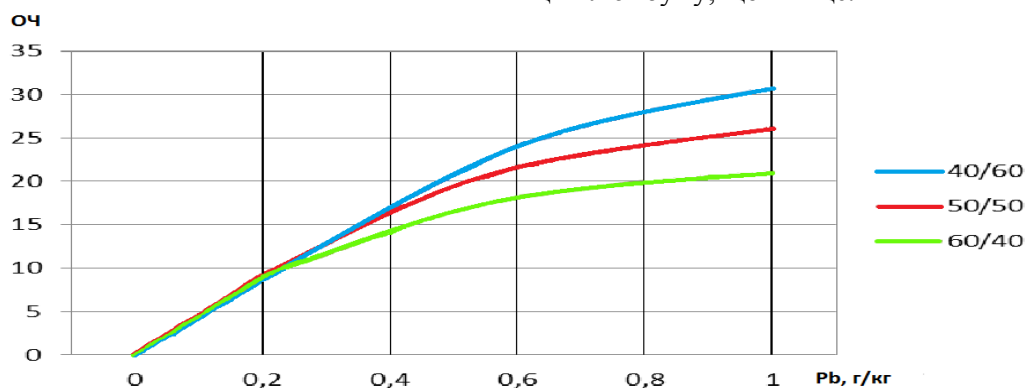


Рис. 1. Вплив концентрації свинцю в еталонних сумішах ізооктану та н-гептану [3]

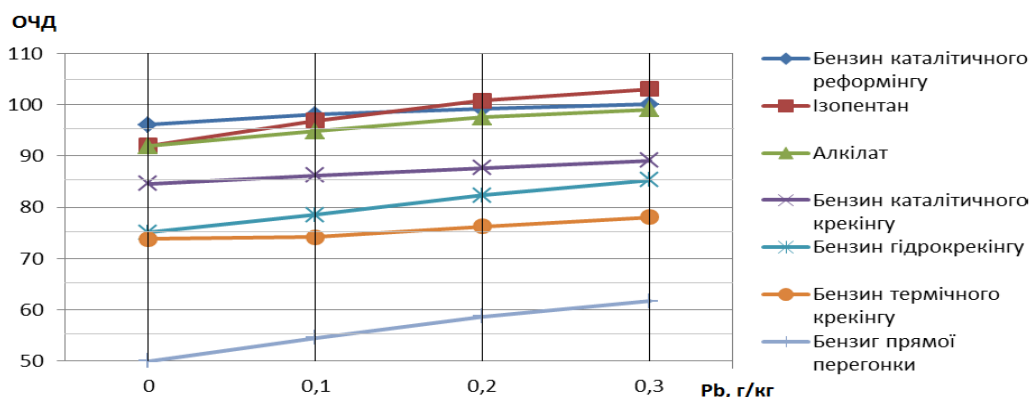


Рис. 2. Залежність ОЧ бензинів різного походження від концентрації Pb [3]

Як видно з рис. 2 у алкілата ефект 0,3 г Pb/кг палива становить 7,2 одиниці, в свою чергу бензини каталітичного, термічного крекінгу та гідрокрекінгу дають підсилення в 4,5 у 4,3 та 10,2 одиниць відповідно. Таким чином, як видно з рис. 2 найбільший антидетонаційний ефект спостерігається на бензинах прямої перегонки, найменший на бензині каталітичного риформінгу, бензинами антидетонаційна стабільність яких перевищує стабільність ізооктану є ізопентан та бензин каталітичного риформінгу, тобто як видно з рис. 2 бензини з високим октановим числом менш толерантні до тетраетил свинцю [3].

До негативних рис тетраетилсвинцю належать, як екологічні властивості так і токсичні ефекти. До екологічних властивостей можна віднести граничнодопустиму концентрацію (ГДК) і згідно з ГОСТ 12.1.005-88 ГДК тетраетилсвинцев у повітрі робочої зони становить 0,005 мг/м³, що дозволяє віднести його до 1-го класу небезпеки. ГДК оксидів і солей свинцю — 0,01 мг/м³, LD50 (для щурів) — 12, 7 мг/кг [4]. Тетраетилсвинцев швидко проникає через дихальні шляхи і шкіру, добре всмоктується через травний канал. Його токсичність зумовлена наявністю іона свинцю, а органічний радикал прискорює проникнення і фіксацію токсичної речовини в нервові тканини. На нервову систему діє триетилсвинцев — метаболіт, що утворюється в процесі біологічного перетворення токсичної речовини. Цей метаболіт пригнічує енергетичний обмін головного мозку шляхом інгібування гліколізу і синтезу АТФ. При гістологічному дослідженні виявляють масивні дегенеративні зміни в корі великого мозку, таламусі, гіпоталамусі і білій речовині мозку, а також мікрогеморагії.

Останніми роками асортимент авіаційних бензинів значно поповнився за рахунок нових марок. Це зумовлено різким зростанням виробництва не етильованих бензинів, які вміщують різноманітні антидетонаційні та інші домішки. Частковий перехід на виробництво та застосування не етильованих авіаційних бензинів значно покращив екологічну ситуацію в світі, знизивши викиди в атмосферу високотоксичних сполук свинцю.

Закон України «Про заборону ввозу і реалізації на території України етильованого бензину та свинцевих домішок до бензину» значно обмежив використання тетраетилсвинцю (ТЕС) в Україні, що призвело до використання, як авіаційних бензинів автомобільних бензинів, що є порушенням технічних умов, а також відповідно до міжнародних угод та стандартів у галузі цивільної авіації потребує заборону подальшої їх експлуатації, у тому числі і заборону прильоту до України іно-

земних повітряних суден, що використовують етильований бензин. Тому на території України з 2013 р. дозволено реалізацію малоетильованого бензину авіаційного AVGAS 100 LL, що в свою чергу вирішить питання використання авіації загального призначення та численних авіагуритів, які звикли подорожувати світом на власних легких літаках.

Тому в більшості країн світу, зокрема в Європі та країнах СНД, за винятком тільки України, без обмежень використовують малоетильований авіаційний бензин AVGAS 100 LL.

У травні 2012 р. Федеральною авіаційною адміністрацією США (FAA Unleaded Avgas Transition rulemaking committee) був розроблений план щодо виробництва та повної заміни етильованого авіаційного бензину на альтернативний без умісту тетраетилсвинцю терміном на 11 років. Враховуючи вже значні досягнення в розробці та застосуванні не етильованих авіаційних бензинів, термін реалізації даного плану може суттєво скоротитись.

Американською компанією Swift Enterprises було розроблено авіаційний бензин 100SF, який перевершує за багатьма показниками авіаційний бензин марки AVGAS 100LL. Swift Fuel 100SF є авіаційним паливом, який не містить присадок і виробляється з біомаси (близько 85 % мезитилену та 15 % ізопентану). При цьому, як стверджується, викиди CO₂ взагалі відсутні, тобто нове біопаливо стане хорошою альтернативою для турбогвинтових та поршневіх літаків. У лютому 2010 року General Aviation Modifications Inc. розробили паливо, що є заміною 100 LL та має назву G100UL (UL — неетильований).

Склад палива не оголошується, це є таємницею компанії. Нове паливо має трохи більшу щільність, ніж 100 LL, але на 3,5 % має більш високий термодинамічний вихід. G100UL сумісний з 100 LL та може бути мішаний з ним у будь-якому співвідношенні. Економічна доцільність виробництва нового палива не підтверджена, але очікується, що це буде коштувати принаймні стільки, скільки 100LL. У Росії виготовляють чотири марки авіаційного бензину: Б-70 (ТУ 38.101913-82), Б-92 (ТУ 38.401-58-47-92), Б-91/115 (ГОСТ 1012), Б-95/130(ГОСТ 1012) та Б-100/130.

Бензин Б-91/115 призначений для експлуатації двигунів АШ-62ІР, АІ-26В, М-14Б, М-14П і М-14В-26, а Б-95/130 — двигунів АШ-82Т і АШ-82.

У грудні 2013 р. компанією Shell Oil було розроблено неетильований авіаційний бензин, з октановим числом 100 одиниць, який був представлений для FAA тестування та сертифікації.

Також як паливо використовувалися продукти алкілування нафтових фракцій з пакетом присадок ароматичних вуглеводнів.

Однією з нагальних проблем, яку необхідно вирішити у галузі цивільної авіації України, зокрема авіації загального призначення, є необхідність пошуку та дозволу на реалізацію нових альтернативних авіаційних бензинів.

Сьогодні у світі проводять дослідження менш токсичних антидетонаторів.

Серед них і аліфатичні спирти — етанол та бутанол, які можна отримувати з рослинної сировини.

Використання аліфатичних спиртів як антидетонаційної присадки

Аліфатичні спирти — одноатомні насичені спирти, позначаються загальною формулою $C_nH_{2n+1}OH$. За номенклатурою IUPAC назви одноатомних насичених спиртів складаються з назв відповідного насиченого гідрокарбону (алкану) з додаванням суфікса -ол. Аліфатичні спирти та прості ефіри належать до класу антидетонаційних домішок під загальною назвою оксигенати. На сьогодні серед спиртових домішок до бензину найбільш досліджений метанол, нижче наведено дані цих досліджень. Ефекти змішування спиртів показано на рис. 3.

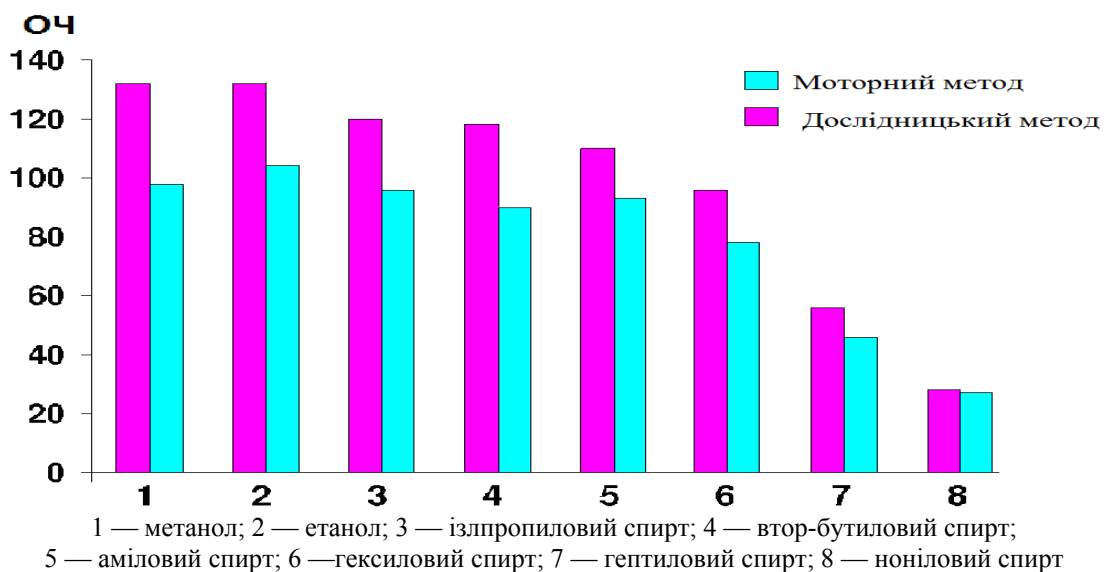


Рис. 3. Октанові числа змішування спиртів [5]

Як бачимо з рис. 3 антидетонаційні властивості метанолу та етанолу є величинами одного порядку і становлять 97 та 104 одиниці за моторним методом, а пригадавши, що за вимогами до AVGAS 100LL октанове число не має бути менше ніж 99,6, то перевагу слід надати все ж етанольним сумішам, той факт, що густини метанолу і етанолу становлять $791,8 \text{ кг/м}^3$ та $789,3 \text{ кг/м}^3$ відповідно, дають змогу не тільки порівняти їх властивості, але і наголосити, що витрати етанольної суміші будуть меншими за рахунок меншої різниці густин між етанолом та базовими бензинами. Нижче наведені особливості використання бензиново-спиртових сумішей на прикладі метанольних сумішей.

Високі антидетонаційні властивості метанолу в поєднанні з можливістю його виробництва з не нафтової сировини дозволяють розглядати цей продукт як перспективну високооктанову компоненту автомобільних бензинів, які одержали назву бензино-метанольних сумішей. Оптимальна домішка метанолу — від 5 до 20 %, за таких

концентрацій бензино-спиртова суміш характеризується задовільними експлуатаційними властивостями і дає помітний економічний ефект.

Домішка метанолу до бензину знижує теплоту згоряння палива і стехіометричний коефіцієнт за незначних змінах теплоти згоряння паливоповітряної суміші. Внаслідок зміни стехіометричних характеристик використання 15 %-ї домішки метанолу (суміш М15) у стандартній системі живлення призводить до збільшення паливоповітряної суміші приблизно на 7 %. Водночас при введенні метанолу підвищується октанове число палива (у середньому на 3–8 одиниць для 15 %-ї домішки), що дозволяє компенсувати погіршення енергетичних показників за рахунок підвищення ступеня стиснення.

Одночасно метанол поліпшує процес згоряння палива завдяки утворенню радикалів, які активізують ланцюгові реакції окиснення.

Дослідження горіння бензино-метанольних сумішей в одноциліндрових двигунах зі стандартною і пошаровою системами сумішоутворен-

ня показали, що домішка метанолу скорочує період затримки запалення і тривалість згоряння палива. При цьому тепловідвід із зони реакції знижується, а межа збіднення суміші поширюється і стає максимальною для чистого метанолу.

Особливості експлуатаційних властивостей метанолу в суміші з бензином проявляються як зростання ефективного ККД двигуна і його потужності, однак паливна економічність при цьому погіршується. За даними, отриманими на одноциліндровій установці, при $e = 8,6 \text{ in} = 2000 \text{ хв}^{-1}$ для суміші М20 (20 % метанолу) в сфері $\kappa = 1,0\text{--}1,3$ ефективний ККД підвищується приблизно на 3 %, потужність — на 3–4 %, а витрата палива збільшується на 8–10 %

Для холодного запуску двигуна при високому вмісті метанолу в паливній суміші або знижених температурах використовують електропідігрів повітря або паливоповітряної суміші, часткову рециркуляцію гарячих відпрацьованих газів, домішки до палива летючих компонентів та інші заходи. Домішки метанолу до бензину загалом сприяють поліпшенню токсичних характеристик автомобіля. Наприклад, у дослідях, виконаних на групі з 14 автомобілів з пробігом від 5 до 120 тис. км, домішка 10 % метанолу змінювала викид вуглеводнів як у бік підвищення на 41 %, так і зменшення на 26 %, що в середньому склало 1 % збільшення. Викиди CO і NO_x при цьому зменшилися в середньому на 38 і 8 % відповідно для всіх груп автомобілів. Однією з найбільш серйозних проблем, що ускладнюють застосування домішок метанолу, є низька стабільність бензино-метанольних сумішей і особливо чутливість їх до води. Різниця щільності бензину і метанолу та висока розчинність останнього у воді призводять до того, що потрапляння навіть невеликої кількості води в суміш веде до її негайного розшарування і осадження водно-метанольної фази.

Схильність до розшарування посилюється з пониженням температури, збільшенням концентрації води і зменшенням вмісту ароматичних сполук у бензині. Наприклад, за вмістом від 0,2 до 1,0 % (об.) води в паливній суміші температура розшарування підвищується від -20 до $+10$ °С, тобто, така суміш практично непридатна для експлуатації.

Для стабілізації бензино-метанольних сумішей використовують присадки — пропанол, ізопропанол, ізобутанол та інші спирти. За вмістом води 600 мл^{-1} каламутнення звичайної суміші М15 починається вже за температури -9 °С, за температури -17 °С — суміш розшарується, а за температури -20 °С настає практично повна дестабілізація.

Домішка 1 % ізопропанолу знижує температуру розшарування майже на 10 °С, а домішка 25 % — зберігає стабільність сумішей М15 навіть з

низьким вмістом ароматичних сполук у бензині майже до -40 °С у широкому діапазоні вмісту води.

У зв'язку з високою вартістю і обмеженістю виробництва стабілізаторів бензино-метанольних сумішей запропоновано використовувати суміш спиртів, головним чином ізобутанолу, пропанолу і етанолу. Така стабілізуюча присадка може бути отримана в єдиному технологічному циклі спільного виробництва метанолу та вищих спиртів. Домішка навіть невеликих кількостей метанолу змінює фракційний склад палива. У результаті посилюється схильність до утворення парових пробок в паливоподавальних магістралях, хоча при чистому метанолі це практично виключається через його високу теплоту пароутворення. Згідно з розрахунками, для 10 %-ї суміші метанолу з бензином утворення парових пробок можливо за температури навколишнього повітря на $8\text{--}11$ °С нижче, ніж для базового палива. Коригування фракційного складу базового палива можливо зниженням вмісту легких компонентів з урахуванням подальшої добавки метанолу.

Корозійна активність бензино-метанольних сумішей значно нижча, ніж у чистого метанолу, однак у ряді випадків дуже залежить від присутності води. Наприклад, у сумішах із вмістом 10–15 % метанолу сталь, латунь і мідь кородують, алюміній же кородує повільно зі зміною кольору. За кордоном у карбюраторних двигунах практичне застосування отримали суміші 10–20 % етанолу з нафтовими бензинами, що отримали назву «газохол». Відповідно до стандарту ASTM, розробленим національною комісією з спиртових палив США, газохол з 10 % етанолу характеризується такими показниками: густина $730\text{--}760 \text{ кг/м}^3$, температурні межі кипіння $25\text{--}210$ °С, теплота згоряння $41,9 \text{ МДж/кг}$, теплота випаровування 465 кДж/кг , тиск насичених парів (38 °С) $55\text{--}110 \text{ кПа}$, в'язкість (за температури -40 °С) $0,6 \text{ мм}^2/\text{с}$, стехіометричний коефіцієнт 14. Таким чином, за більшістю показників газохол відповідає автомобільним бензинам (табл. 1).

У процесі повного згоряння моторного палива органічного походження утворюються тільки дві компоненти: діоксид вуглецю і вода. На обидві речовини покладається відповідальність за зміну клімату на Землі, оскільки вважається, що їх присутність в атмосфері викликає парниковий ефект.

У табл. 1 як приклад наведені речовини, що є найбільш перспективними замінами традиційних палив та присадками до них, дані про масовий зміст у них вуглецю і водню, а також відношення числа молекул діоксиду вуглецю до числа молекул води, що утворюються при повному окисненні кожного з цих речовин.

Таблиця 1

Масовий вміст вуглецю в молекулах палива та порівняння вмісту молекул оксиду вуглецю до молекул води при згорянні [12]

Речовина	Формула	Мол. маса г/мол	Вміст, % мас.		CO ₂ : H ₂ O
			карбону	водню	
Метан	CH ₄	16	75	25	0,5
Етан	C ₂ H ₆	30	80	20	0,67
Пропан	C ₃ H ₈	44	81,82	18,18	0,75
Бутан	C ₄ H ₁₀	58	82,75	17,25	0,83
Пентан	C ₅ H ₁₂	72	83,33	16,67	0,85
Гексан	C ₆ H ₁₄	86	83,72	16,28	0,86
Циклогексан	C ₆ H ₁₂	84	87,80	12,20	1
1-Гексан	C ₆ H ₁₂	84	87,71	12,29	1
1-Гексин	C ₆ H ₁₀	82	87,80	12,20	1,2
1,5-Гексадієн	C ₆ H ₁₀	82	87,80	12,20	1,2
Циклогексадієн	C ₆ H ₈	80	90	10	1,5
1,3,5-Гексатрієн	C ₆ H ₈	80	90	10	1,5
Бензол	C ₆ H ₆	78	92,31	7,69	2
Ейкозан	C ₂₀ H ₄₂	282	85,10	14,90	0,95
Метанол	CH ₃ OH	32	37,50	12,50	0,5
Етанол	C ₂ H ₅ OH	46	52,17	13,04	0,66
Бензин (автомобільний)	≈C ₈ H ₁₆	≈110-120	85,5	14,5	1
Рапсове масло	C ₅₇ H ₁₀₂ O ₆	≈882	77,55	11,56	1,12
Рапсове масло тригліцерид	C ₆₃ H ₄₄ O ₆	≈936	78,41	11,54	1,13
МЕГК(1)	C ₂₃ H ₄₄ O ₆	≈352	78,41	12,50	1,04
МЕРО(2)	C ₁₉ H ₃₅ O ₆	≈295	77,29	11,86	1,08
Дизельне паливо	≈C ₁₄ H ₂₈	≈180-200	87,0	12,6	1
МТБЕ(3)	C ₅ H ₁₂ O	88	68,18	13,63	0,91
ЕТБЕ(4)	C ₆ H ₁₄ O	102	70,58	13,72	1,85
Бутанол	C ₄ H ₉ OH	74	64,86	13,51	0,8

Примітка. (1) метиловий ефір гексозанової кислоти; (2) метиловий ефір ріпакової олії; (3) метил-трет-бутиловий ефір. (4) етил-трет-бутиловий ефір

Останній параметр, на наш погляд, відбиває якісну картину емісії діоксиду вуглецю. Для того, щоб відслідкувати її зміну зі зміною складу і будови молекул в табл. 1 додатково включені деякі гомологи і ізомери. Як видно, зі збільшенням молекулярної маси органічні речовини підвищують масовий вміст у ньому вуглецю, в той час як вміст водню знижується. Так, у разі метану вуглець становить 75 % мас молекули, а у разі ейкозану — 85 %. Та сама картина спостерігається при переході від граничних вуглеводнів до ароматичних: у разі бензолу вуглець становить уже 90 % мас молекули. Збільшення вмісту вуглецю призводить до збільшення виходу діоксиду вуглецю за повного згорання молекули.

Отже, для зниження емісії діоксиду вуглецю необхідно використовувати низькомолекулярні насичені органічні з'єднання. З цієї точки зору метан (C₂O : H₂O = 0,5) являє собою екологічно привабливу альтернативу традиційним видам палив. Подібна картина спостерігається для метанолу і етанолу, для яких співвідношення C₂O : H₂O відповідно становить 0,50 і 0,66 відносних одиниць [12].

Екологічна чистота — характеристика продукції, яка обернено-пропорційна до її забрудненості. Традиційно екологічна чистота палива оцінюється за емісією продуктів його згорання (до продуктів згорання належать: CO₂ і NO_x та SO₂), за канцерогенністю, за токсичністю компонентного складу палива та за токсичністю продуктів неповного згорання палива. Канцерогенні властивості паливної суміші, та емісія SO₂ знижуються пропорційно зменшенню нафтової складової палива, так за максимального значення вмісту сірки, а саме 0,05 % у разі додавання до нього 5 і 10 та 15 % етанолу вміст сірки в свою чергу буде становити 0,0475 і 0,045 та 0,0425 що дає підстави говорити про суттєве збільшення екологічності палива. На даний момент токсичність нафтової складової палива рахується сумарно, проте найбільшими токсичними властивостями володіють ароматичні вуглеводні тому зміну токсичності цілком можна відслідковувати за концентрацією деяких складових палива [4]. Як бачимо зі збільшенням вмісту етанолу частка в найбільш токсичних його компонентів палива, а саме бензолу і толуолу знижується, що дає нам підставу говорити про збільшення екологічності палива в разі додавання спирту до палива.

Отже, при додаванні 10 та 25 % етанолу у паливну суміш, це змінює емісію оксиду азоту на досить несуттєві значення, що дозволяє нам говорити про те, що збільшення емісії азоту не може бути підставою обмеження використання етанолу в авіаційних бензинах.

Висновки

З вищенаведеного видно, що використання ТЕС незважаючи на його надзвичайно істотний вплив на антидетонаційну стабільність, вважаємо доцільним використовувати спирто-бензинові суміші, антидетонаційні властивості метанолу та етанолу що є величинами одного порядку і становлять 97 та 104 одиниці за моторним методом, а пригадавши, що за вимогами до AVGAS 100LL октанове число не має бути менше ніж 99,6, то перевагу слід надати все ж етанольним сумішам, той факт, що густини метанолу і етанолу становлять $791,8 \text{ кг/м}^3$ та $789,3 \text{ кг/м}^3$ відповідно, дають змогу не тільки прирівнювати їх властивості, але і дають змогу висловити, що витрати етанольної суміші будуть меншими за рахунок меншої різниці густин між етанолом та базовими бензинами.

Аналізуючи дані табл. 1, бачимо що емісія метанолу, яка становить 0,5, є оптимальною з точки зору екології але нажаль він є досить токсичним, а продуктом його неповного згоряння є формальдегід ГДК який в робочій зоні становить $0,5 \text{ мг/м}^3$, що дозволяє віднести його до другого класу небезпеки, а емісія етанолу

становить 0,66, що також є високим показником продукта неповного згоряння, етанол є ацетальдегід ГДК якого в робочій зоні становить 5 мг/м^3 що дозволяє віднести його до третього класу небезпеки, тобто рівень токсичності відрізняється на порядок. Літературні джерела свідчать про збільшення емісії альдегідів у 2–4 рази при збільшенні частки спирту в паливі, що однак не є суттєвим екологічним ризиком з причини загалом незначних величин емісії альдегідів.

Токсичність продуктів неповного згоряння палива є актуальною тому що, за екстремальних умов, у тому числі в умовах зльоту та посадки, коли двигун працює за підвищених оборотах цілком можливе неповне згоряння палива в двигуні.

На табл. 2 можемо спостерігати зміну концентрації одних з найбільш токсичних елементів палива, а саме октану (ГДК = 15 мг/м^3) та толуолу (ГДК = 50 мг/м^3).

Як бачимо на рис. 3 при додаванні 10 та 25 % етанолу у паливну суміш змінює емісію оксиду азоту на досить незначні значення.

Аналізуючи табл. 3 дійшли висновку, що вимоги до нижчої питомої теплоти згоряння виконуються навіть при додаванні 5 % етанолу і вона коливається в межах 43,3–43,7 МДж/кг, що дозволяє сказати про те що найбільш згадуваний недолік спиртових домішок не є бар'єром для застосування сумішевих палив у авіації.

Таблиця 2

Уміст найбільш токсичних компонентів у сумішевому паливі

Речовина	Чистий бензин	Чистий бензин + 5 % етанолу	Чистий бензин + 10 % етанолу	Чистий бензин + 15 % етанолу	ГДК р.з., мг/м^3
Бензол, %	2,7	1,077	1,027	0,996	15
Толуол, %	14,98	14,578	13,546	13,407	50

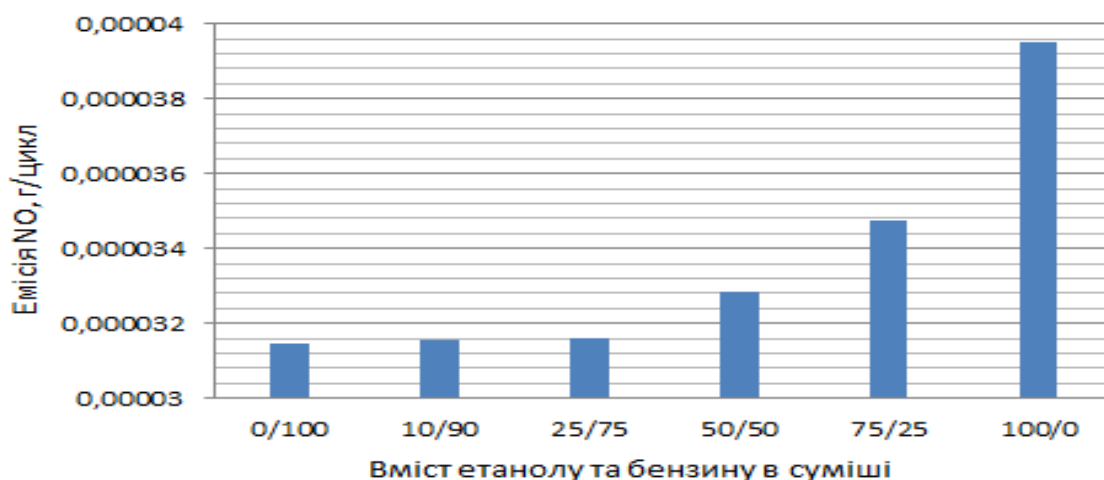


Рис. 3. Значення емісії оксиду азоту за один цикл роботи двигуна залежно від вмісту етанолу в паливі [13]

Вимоги до авіаційних бензинів у різних країнах світу, де У — Україна, Р — Росія, Є — Європа, А — Америка [10, 11]

Показник	Норма для марки											
	Б 95/130 ГОСТ 1012 (У, Р)	Б 91/115 ГОСТ 1012 (У, Р)	Avgas 100LL ГОСТ Р 55493 (Р)	Avgas 80 (Def stan 91-90/3) (Є)	Avgas 100 (Def stan 91-90/3) (Є)	Avgas 100LL (Def stan 91-90/3) (Є)	Сорт 80 ASTM D 910- 11 (А)	Сорт 91 ASTM D 910-11 (А)	Сорт 100VLL ASTM D 910-11 (А)	Сорт 100LL ASTM D 910- 11 (А)	Сорт 100 ASTM D 910- 11 (А)	ОBR91U L ASTMD 7547 (Є, А)
Уміст тетраетилсвинцю в г на 1 дм ³ бензи- ну, не більше	3,1 (г/кг)	2,5 (г/кг)	0,56	0,14	0,85	0,56	0,14	0,56	0,45	0,56	1,12	0,005
Детонаційна стійкість: октанове число за моторним методом, не менше	95	91	99,6	80,7	99,6	99,6	80,7	90,8	99,6	99,6	99,6	91
сортність на багатій суміші, не менше	130	115	130	87	130	130	87	98	130	130	130	
Питома теплота згорання нижча, Дж/кг (ккал/кг), не менше	42947 10 ³ (10250)		43,5 10 ⁶									
Фракційний склад: – 1 початку перегонки, °С, не нижче	40		Визначається обов'язково									
– 10 % переганяється за t, °С, не вище	82		75									
– 40 % переганяється за t, °С, не вище	–		75									
– 50 % переганяється за t, °С, не вище	105		105									
– 90 % переганяється за t, °С, не вище	145		135									
– 97,5 % переганяється за t, °С, не вище	–		–									
– кінець кипіння t, °С, не вище	180		135									
– сума t 10 та 50 % відгону, °С, не нижче	–		170									
– вихід, %, не менше	–		97									
– залишок, %, не більше	1,5		1,5									
– втрати, не більше	–		1,5									
Тиск насиченої пари, Па (мм рт. ст.), не менше	33325	2 9326	38000-49000									
не більше	45422	47988										
Температура початку кристалізації, °С, не вище	–60		–60	–58			–58				–60	
Масова частка сірки, %, не більше	0,03		0,03	0,05								
Колір	жовтий	зеле- ний	блакит- ний	черво- ний	зелений	синій	черво- ний	коричне- вий	бла- китний	блакит- ний	зелений	безба- рвний

ЛІТЕРАТУРА

1. *Разработка* базы данных по октановым числам для математической модели процесса компаундирования товарных бензинов / Ю. А. Смышляева, Э. Д. Иванчина, А. В. Кравцов, Ч. Т. Зьонг, Ф. Фан // Известия Томского политехнического университета, 2011. — Т. 318. — № 3. — С. 75–80.

2. Экологические свойства [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://chem21.info/info/1602691/> від 15.01.2016 р.

3. *Свинецсодержащие* присадки [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://additive.spb.ru/tes.html> від 11.11.2015 р.

4. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (ГОСТ 12.1.005-88). — [Чинний від 01.01.1988]. — М. : Издательство стандартов. — 45 с.

5. *Применение* антидетонационных добавок в автомобильных бензинах [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.myshared.ru/slide/615941/> від 11.11.15 р.

6. *Спиртовые* топлива [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://additive.spb.ru/oxigen.html> від 11.11.2015 р.

7. *Бензины* автомобильные. Технические условия. (ГОСТ 2084-77). — [Чинний від 01.01.1979]. — М. : Издательство стандартов — 9 с.

8. *Данилов А. М.* Применение присадок в топливах: справочник. — 3-е изд., доп. — СПб. : Химиздат, 2010. — 368 с.

9. *Капустин В. М.* Нефтяные и альтернативные топлива с присадками и добавками. — М. : Колос С. 2008 — 232 с.

10. *ASTM D 910-11* «Standard Specification for Aviation Gasolines» (Стандартні специфікації для авіаційних бензинів).

11. *DEF STAN 91-90/3* «Gasoline Aviation: Grades 80/87, 100/130 and 100/130LL. Joint Service Designation: AVGAS 80, AVGAS 100 and AVGAS 100LL» (Авіаційний бензин: Марки 80/87, 100/130 і 100/130LL. Позначення: АВГАЗ 80, АВГАЗ 100 і АВГАЗ 100LL).

12. *Сравнение* жидких биотоплив с нефтяными топливами по экологическим характеристикам / К. Е. Панкин, Ю. В. Иванова, Р. И. Кузьмина, С. Н. Штыков. // Химия и технология топлив и масел. — М. : Издательский центр РГУ нефти и газа имени И. М. Губкина. — Вып. 3 (565), 2011. — С. 3–6.

13. *Образование* монооксида азота и исследование влияния на его эмиссию регулируемых параметров двигателя и вида используемого топлива / А. М. Левтеров, Л. И. Левтерова, Н. Ю. Гладкова //

Двигатели внутреннего сгорания — К.: Політехніка. — Вып. 2, 2010. — С. 133–117.

LITERATURE

1. *Development* of a database for the octane number of a mathematical model of the process of blending of commercial gasoline / Y. A. Smyshlyayeva, E. D. Ivanchina, A. V. Kravtsov, Ch. T. Duong, F. Fan // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. 2011. — Т. 318. № 3. — S. 75–80.

2. *Environmental* properties [Electron resource]. — Access: <http://chem21.info/info/1602691/> from 15. 01. 2016.

3. *Lead-containing* additives [Electron resource]. — Access: <http://additive.spb.ru/tes.html> from 11.11. 2015 y.

4. *Occupational* safety standards system. General hygiene requirements to the working zone (GOST 12.1.005-88). — [Effective as of 01.01.1988]. — М. : Publishing standards. — 45. — (International standards).

5. *Use of* anti-knock additive in motor gasoline [Electron resource]. — Access: <http://www.myshared.ru/slide/615941/> from 11.11.2015 y.

6. *Alcohol* Fuel [Electron resource]. — Access: <http://additive.spb.ru/oxigen.html> from 11.11.2015 y.

7. *Gasoline* for automobiles. Specifications. (GOST 2084-77). — [Effective as of 01.01. 1979]. — М. : Publishing standards — 9.

8. *Danilov A. M.* The use of additives in fuels Handbook. — 3rd edition., Ext. — SPb. : HIMIZDAT, 2010. — 368 p.

9. *Kapustin V. M.* Oil and alternative fuel with additives and additives. — М.: ColosS, 2008. — 232 p.

10. *ASTM D 910-11* «Standard Specification for Aviation Gasolines (Standard specification for aviation gasoline).

11. *DEF STAN 91-90/3* «Gasoline Aviation: Grades 80/87, 100/130 and 100/130LL. Joint Service Designation: AVGAS 80, AVGAS 100 and AVGAS 100LL» (Aviation gasoline: Stamps 80/87, 100/130 and 100 / 130LL. Legend: AVGAZ 80, 100 and AVHAZ AVHAZ 100LL).

12. *Comparison* of liquid biofuels with petroleum fuels by environmental characteristics / K. E. Pankin, U. V. Ivanov, R. I. Kuzmin, S. N. Shtycov. // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. — М. : Publishing Center RSU of Oil and Gas Gubkin. — Vol. 3 (565), 2011. — P. 3–6.

13. *The formation* of nitrogen monoxide and study its impact on the issue of adjustable parameters of the engine and the fuel used/ A. M. Levterov, L. I. Levterova, N. Y. Gladkov // Internal combustion engines. — К. : Politehnika. — Vol. 2, 2010. — S. 133–117.

Стаття надійшла до редакції 04.02.2016